

Д-35780

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 621.312

СТАРЖИНСКИЙ
Алексей Леонидович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

по специальности 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические
системы

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Минск 2007

Работа выполнена на кафедре «Электрические системы» Белорусского национального технического университета.

Научный руководитель – Короткевич Михаил Андреевич, доктор технических наук, профессор; профессор кафедры «Электрические системы» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: Забелло Евгений Петрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией учета электрической энергии Белорусского теплоэнергетического института (г. Минск);

Римша Александр Викторович кандидат технических наук, главный инженер совместного закрытого акционерного общества «Белинвестэско» (г. Минск)

Оппонирующая организация – кафедра «Электроснабжение» Белорусского государственного аграрно-технического университета (БГАТУ)


Защита состоится «11» декабря 2007 г. в 12 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.02 в Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет, корпус 2, ауд. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Отзывы на автореферат диссертации в двух экземплярах просим высылать на адрес университета и предварительно отправлять по факсу (8 – 017) – 292 – 91 – 37 (для стран СНГ (8 – 10 – 375 – 17)– 292 – 91 – 37 на имя председателя совета по защите диссертаций Романюка Ф.А.

Автореферат разослан «31» сентября 2007 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор технических наук, профессор

 Сергей И.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Необходимость в сооружении собственных электростанций на промышленных предприятиях в условиях Республики Беларусь в прошлом периоде была обусловлена или потребностями технологического процесса в тепловой энергии или требованиями обеспечения резервного питания ответственных потребителей.

В настоящее время отмеченные причины дополнены высокими тарифами на тепловую и электрическую энергию, получаемую от энергосистем, а также необходимостью экономии топливно-энергетических ресурсов из-за непрерывного роста их стоимости, в том числе и в тех уникальных случаях, когда не в полной мере используется энергия, вырабатываемая собственными энергетическими источниками предприятия для целей технологического процесса, например, наличие избыточного потенциала пара (высокое давление и температура), произведенного, но не полностью используемого в технологическом процессе.

Установка собственных генерирующих мощностей особенно актуальна для предприятий с непрерывным технологическим процессом, которые имеют ограниченные возможности по изменению технологических циклов и, следовательно, по уменьшению электропотребления.

Решением проблемы повышения эффективности системы энергоснабжения промышленных предприятий занимались такие ученые как Ю.Л. Мукосеев, Е.Я. Соколов, Ю.Б. Гук, Ю.М. Хлебалин, В.А. Федоров, Б.И. Кудрин, Л.П. Падалко, В.В. Прокопчик, А.Б. Лоскутов и другие.

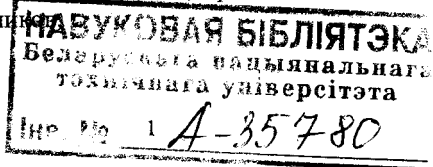
Однако, несмотря на большую актуальность проблемы, ее решение затруднено, т.к. создание собственных генерирующих источников на промышленном предприятии требует технико-экономического обоснования с учетом изменения надежности системы внешнего и внутреннего электроснабжения, возможностей и условий устойчивости параллельной работы миниэлектростанций с энергосистемой, изменений влияния промышленного объекта на окружающую среду, изменений зависимости предприятия от поставщика энергии – энергосистемы.

Решению отмеченных актуальных вопросов, в условиях, когда электростанция на предприятии создается в связи с наличием избыточной тепловой энергии, и посвящена данная диссертационная работа.

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.

Работа по тематике и направлению исследований соответствует госбюджетной теме кафедры “Электрические системы” Белорусского национального технического университета ГБ 01-222 “Экономия электроэнергии в энергосистемах путем оптимизации схем сетей и параметров режимов”.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в разработке комплексной методики оценки повышения эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий в том числе и предприятий с непрерывным технологическим процессом, при подключении к ним собственных генерирующих источников.



Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Выявить составляющие необходимых затрат и возможных эффектов при создании собственных генерирующих источников на промышленном предприятии.

2. Разработать методику комплексной оценки эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий, при подключении к ним собственных генерирующих источников с учетом как количественных показателей (экономичности, надежности) так и качественных характеристик (влияние на окружающую среду, снижение зависимости предприятия от энергосистемы).

3. Предложить эффективные способы включения генераторов миниэлектростанций на параллельную работу с энергосистемой и оценить уровень статической и динамической устойчивости генерирующих источников миниэлектростанции.

4. Определить изменение показателей надежности системы электроснабжения промышленного предприятия при наличии миниэлектростанции и возможности подключения генераторов на шины различных номинальных напряжений при полном или частичном покрытии электрической нагрузки шин.

Положения, выносимые на защиту:

○ методика комплексной оценки эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий при подключении к ней собственных генерирующих источников;

○ схема устройства включения генератора миниэлектростанции на параллельную работу с энергосистемой;

○ области изменения показателей надежности сложной, многократно резервированной системы электроснабжения промышленного предприятия при наличии собственных генерирующих источников и их подключении на шины различных номинальных напряжений.

Личный вклад соискателя.

1. Выявлены составляющие необходимых затрат и возможных эффектов при создании собственных генерирующих источников на промышленном предприятии.

2. Разработана комплексная методика определения эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий при подключении к ней собственных генерирующих источников.

3. Показано, что присоединение генератора миниэлектростанции к системе внутреннего электроснабжения предприятия и полном покрытии мощности присоединенной нагрузки обеспечивает снижение частоты отказов в 3 и более раз и вероятную продолжительность аварийного простоя схемы более чем в 15 раз;

4. Разработана схема реле синхронизации, отличающаяся меньшей погрешностью, за счет уменьшения количества суммируемых слагаемых в сумматоре.

Вклад соавторов состоит: в постановке задачи определения целесообразности применения собственных генерирующих источников на промышленном

предприятия [2, 8]; определении возможных резервов энергосбережения при применении малых и мини-ТЭЦ в промышленном энергоузле [5, 6].

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на:

- Международной научно-технической конференции молодых специалистов и ученых “Металл-2003”, г. Жлобин, 2003 г.;
- Международной научно-технической конференции “Электроэнергия и будущее цивилизации”, г. Томск, 2004 г.;
- Всероссийском научном семинаре с международным участием “Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики”, г. Минск, 2004 г.;
- V Международной научно-технической конференции “Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств EPQ 2005”, г. Мариуполь, 2005 г.;
- III Международной научно-технической конференции “Наука – образованию, производству, экономике”, г. Минск, 2006 г.
- IV Международной научно-технической конференции “Наука – образованию, производству, экономике”, г. Минск, 2006 г.

По результатам диссертации подана заявка на изобретение:

Заявка а20060398 РБ МПК7 Н 01Н 47/20. Реле синхронизации / Старжинский А.Л. – Заявл. 27.04.2006.

Опубликованность результатов диссертации. По тематике диссертации опубликовано четыре статьи: две в научном журнале “Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ)”, в научном журнале “Вестник Гомельского государственного технического университета”, в рецензируемом сборнике института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) “Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики”, 6 тезисов в сборниках докладов на научно-технических конференциях. Всего объем опубликованных материалов составляет – 45 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации 185 страниц, из которых 21 страница заняты таблицами и рисунками, 9 страниц – библиографическим списком (123 наименования) и 53 страницы – приложениями.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко рассмотрены современные направления экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях, в том числе и за счет сооружения собственных генерирующих источников.

В общей характеристике работы сформулированы цель и задачи исследования, положения выносимые на защиту, а также апробация и опубликованность полученных результатов.

В первой главе показана значимость проблемы повышения эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий, проведен анализ существующих нормативных требований к построению систем электроснабжения предприятий с непрерывным технологическим процессом. Указаны причины, обуславливающие необходимость сооружения собственной электростанции на промышленном предприятии, а также условия, при которых возможно рассматривать заводские электростанции как независимые источники питания. Рассмотрены причины, приведшие к отказу от строительства миниэлектростанций в период развития энергетики по плановому принципу. Приведено обоснование применения паротурбинных агрегатов в качестве собственных источников электроэнергии на промышленных предприятиях при наличии источника тепловой энергии и в условиях рыночной стоимости органического топлива.

Описана одна из нередко встречающихся наиболее сложных схем системы электроснабжения предприятия с непрерывным технологическим процессом, а именно по производству пищевой соли, а также дана характеристика данного технологического процесса. При этом намечены возможные места подключения генератора миниэлектростанции в систему электроснабжения предприятия (рисунок 1; шины напряжением 10(6) или 0,38 кВ).

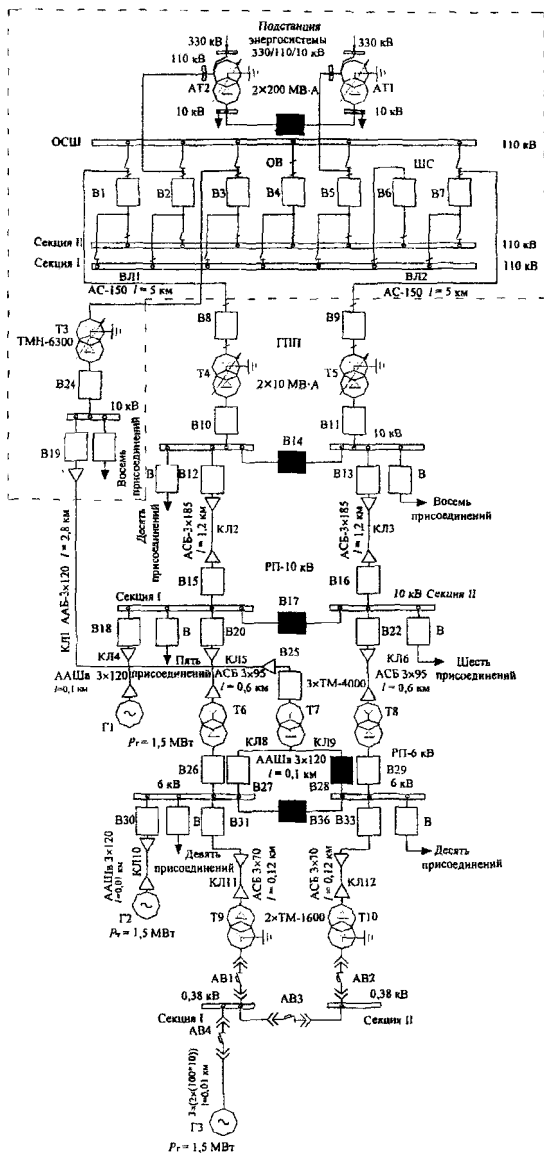
Определены токи короткого замыкания в системе электроснабжения рассматриваемого предприятия при работе генератора миниэлектростанции на шины различных номинальных напряжений.

Определены количество, тип и мощность возможных к установке турбоагрегатов на рассматриваемом промышленном предприятии исходя из номенклатурного перечня выпускаемых паровых турбин малой мощности и суммарной паропроизводительности котельной.

Рассмотрена целесообразность применения синхронных и асинхронных машин в качестве генераторов для получения электрической энергии на паротурбинных установках миниэлектростанций.

Указаны требования, предъявляемые к автоматике и релейной защите системы электроснабжения предприятия при включении генераторов миниэлектростанции на параллельную работу с энергосистемой, а также сформулирована задача определения наиболее целесообразной точки подключения генератора (шины напряжением 10(6) или 0,38 кВ) исходя из максимума надежности схемы электроснабжения и условий обеспечения возможности параллельной работы.

Указаны необходимые затраты и возможные эффекты при создании собственных генерирующих источников на предприятии. К наиболее существенным количественным показателям относятся: уровень надежности и дисконтированные затраты, а к качественным – влияние энергоустановки промышленного объекта на окружающую среду и снижение зависимости промышленного предприятия от поставок электроэнергии из энергосистемы.



— нормально отключенный разъединитель; — нормально включенный разъединитель; АТ1, АТ2 – автотрансформаторы; ГП1 – главная понизительная подстанция; РП – распределительный пункт; ОСШ – обходная сита шин; ОВ – обходной выключатель; ШС – шиносоединительный выключатель; АВ – автоматический выключатель; КЛ – кабельная линия; АСБ 3×95 – марка и сечение жил кабеля; $l = 2,8$ км – длина линии, км; ■ В36 – нормально отключенный выключатель.

Рисунок 1 – Схема электроснабжения промышленного предприятия

Таким образом, обоснование применения паротурбинных агрегатов в качестве собственных источников электроэнергии на промышленных предприятиях с непрерывным технологическим процессом связано с учетом необходимых затрат (капитальных, затрат на эксплуатацию) и наиболее существенных эффектов (повышение уровня надежности системы электроснабжения; снижение зависимости предприятия от поставок электроэнергии из энергосистемы; снижение стоимости электроэнергии для технологических целей предприятия).

Во второй главе рассмотрены существующие подходы к оценке надежности сложных, многократно резервируемых схем электроснабжения. Определены показатели надежности отдельных элементов системы электроснабжения промышленного предприятия и их характеристики. С помощью аналитического метода расчета надежности были определены значения показателей надежности схемы электроснабжения исследуемого промышленного предприятия (см. рисунок 1) при подключении генератора миниэлектростанции к шинам различных номинальных напряжений при полном и частичном покрытии им нагрузки секции шин, а также с учетом режима работы трансформаторов районной подстанции АТ1 и АТ2.

При последовательном соединении элементов частота отказов последовательной цепи определялась как сумма частот отказов последовательно соединенных элементов. Вероятная продолжительность простоя последовательной цепи находилась по выражению

$$v_{\text{аб}}^{\text{ночп}} = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - v_{\text{абк}}), \quad (1)$$

где $v_{\text{абк}}$ – вероятная продолжительность нахождения k -го элемента, входящего в последовательную цепь, в аварийном простое, о.е.

Частота отказов параллельных цепей

$$\lambda^{\text{ночп}} = \lambda_1 \cdot v_{\text{аб2}} + \lambda_2 \cdot v_{\text{аб1}}, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 – частота отказов каждой параллельной ветви, 1/год; $v_{\text{аб1}}$ и $v_{\text{аб2}}$ – вероятная продолжительность аварийного простоя каждой параллельной ветви, о.е.

Вероятная продолжительность аварийного простоя параллельных ветвей

$$v^{\text{ночп}} = v_{\text{аб2}}^{(1)} + v_{\text{аб1}}^{(2)}, \quad (3)$$

где $v_{\text{аб2}}^{(1)}$ – вероятная продолжительность аварийного простоя первой ветви в периоды аварийного простоя второй ветви цепи, о.е.; $v_{\text{аб1}}^{(2)}$ – вероятная продолжительность аварийного простоя второй ветви в периоды аварийного простоя первой ветви цепи, о.е.

В случае ограниченной пропускной способности элементов

$$v^{\text{ночп}} = \varepsilon_1 \cdot v_{\text{аб1}} + (1 - \varepsilon_1) \cdot v_{\text{аб2}}^{(1)} + \varepsilon_2 \cdot v_{\text{аб2}} + (1 - \varepsilon_2) \cdot v_{\text{аб1}}^{(2)}, \quad (4)$$

где ε_1 и ε_2 – коэффициенты ограничения нагрузки потребителей при отключении элементов соответственно первой и второй ветвей.

Суммарная относительная вероятная продолжительность аварийного простоя питающей цепи $v_{\text{сум}}$ определяется суммированием $v^{\text{пар}}$ и $v^{\text{посл}}$. Результаты расчета параметрических показателей надежности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели надежности схемы электроснабжения предприятия

Количество питающих цепей	Параметры оценки надежности	Генератор включен на секции шин напряжением, кВ												Резервная линия включена на секцию шин напряжением, кВ				
		10				6				0,38				10	6	0,38		
		$P/P_{\text{сн}}$ о.е.				$P/P_{\text{сн}}$ о.е.				$P/P_{\text{сн}}$ о.е.				$P_{\text{лин}}/P_{\text{сн}}$ о.е.				
		0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	1				
0	λ , 1/год	-	-	-	0,3315	0	-	-	0,153	-	-	-	0,0655	0,4645	0,2855	0,1985		
	$v_{\text{сум}}$, 8760, ч	-	-	-	7,122	0	-	-	3,89	-	-	-	0,75	102,38	99,15	96		
1	λ , 1/год	0,534	0,177	0,177	0,177	0,534	0,088	0,088	0,088	0,534	0,0008	0,0008	0,0008	0,28	0,191	0,00507		
	$v_{\text{сум}}$, 8760, ч	100,8	44,12	29,96	6,38	100,8	42,18	27,54	3,15	100,8	40,33	25,2	0,0086	93,5	90,32	87,2		
2	λ , 1/год	0,436	0,176	0,176	0,176	0,436	0,087	0,087	0,087	0,436	0,00015	0,00015	0,00015	0,18	0,094	0,00756		
	$v_{\text{сум}}$, 8760, ч	14,6	9,64	8,42	6,37	14,6	7,735	6,01	3,14	14,6	5,84	3,64	0,00125	7,28	4,09	0,00011		

Примечание – P_g , P_c – номинальная мощность генератора и мощность нагрузки секции шин с присоединенным генератором; $P_{\text{лин}}$ – пропускная способность резервной линии.

Из таблицы 1 видно, что при включении генерирующего источника на шины напряжением 10; 6 или 0,38 кВ значение вероятной продолжительности простоя уменьшается соответственно в 6,9, в 13,4 раза и более чем на три порядка (в 4689,5 раза) при мощности собственных генерирующих источников предприятия 60...100 % от потребляемой мощности секции шин.

При включении резервной линии на шины напряжением 6; 10 или 0,38 кВ и полном покрытии мощности нагрузки секции значение вероятной продолжительности аварийного простоя уменьшается в 1,1 раза, т.е. значительно меньше, чем при включении генератора на те же шины.

При включении резервной линии на секции шин потребителя, схема включения трансформаторов АТ1 и АТ2 существенно влияет на увеличение вероятной продолжительности простоя $v_{\text{сум}}$ (более чем в 12 раз).

При отключении питающих линий КЛ2 и КЛ3 (см. рисунок 1) и автономной работе генератора электростанции на шины 10; 6 или 0,38 кВ с полным покрытием нагрузки потребителя значение вероятной продолжительности простоя увеличивается соответственно в 1,1; 1,2 и более чем в 80 раз по сравнению с вариантом совместной работы электростанции потребителя и энергосистемы.

При отключении питающих линий КЛ2 и КЛ3 и включенной на шины напряжением 6; 10 или 0,38 кВ резервной линии значение вероятной продолжительности простоя увеличивается примерно в 1,1 раза.

Был проведен топологический анализ и расчет надежности схемы электроснабжения промышленного предприятия (см. рисунок 1) на ПЭВМ с учетом

плановых ремонтов отдельных элементов. С помощью программ "TOPAS" и "REISS", разработанных в Санкт-Петербургском государственном техническом университете кафедрой "Электрические станции"*, были вычислены показатели надежности схемы. Программа "TOPAS" предназначена для вычисления частот и длительностей возможных аварийных режимов схемы, сопровождающихся отключением от сети генераторов, воздушных линий, резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторов связи, определения количества логических путей развития аварий (конъюнкций). С помощью данной программы была определена надежность схемы районной подстанции 330 кВ, а с помощью программы "REISS", предназначенной для проведения анализа структурной надежности системы электроснабжения потребителей, определена надежность схемы электроснабжения предприятия.

В результате расчета надежности схемы электроснабжения предприятия с учетом отключений элементов сети для проведения плановых ремонтов оказалось, что:

- включение генерирующего источника на шины напряжением 10; 6 или 0,38 кВ уменьшает значение вероятной продолжительности простоя соответственно в 1,24; 1,35 и более чем в 15 раз, снижение частоты отказов в 1,68; 2,37 и 8,32 раза соответственно и уменьшение числа конъюнкций в 1,47; 2,47 и 6,49 раза (при увеличении мощности генерирующих источников от 0 до 100 % от потребляемой мощности секции шин);

- включение резервной линии на шины напряжением 6 и 10 кВ при полном покрытии мощности нагрузки секции не приводит к существенному снижению вероятной продолжительности аварийного простоя, частоты отказов и числа конъюнкций;

- включение резервной линии на шины напряжением 0,38 кВ приводит к снижению значений вероятной продолжительности аварийного простоя, частоты отказов и числа конъюнкций соответственно в 15; 7,87 и в 1,64 раза.

Для различения по надежности схем с высокой степенью резервирования ($\lambda \rightarrow 0$ и $\nu \rightarrow 0$) может использоваться критерий дисконтированных затрат, но если величина надежности является определяющей для выбора варианта, то тогда можно применить методы непараметрической оценки (НО) надежности.

Непараметрические оценки надежности не являются ни частотами, ни работками, ни какими-то другими параметрическими характеристиками надежности. Непараметрическая оценка надежности электроснабжения в отличие от параметрической позволяет для каждой структуры сети вычислить значение безразмерной величины в зависимости от количества элементов и схемы их соединения, не учитывая их показатели надежности. При отсутствии достоверных данных о надежности элементов и высокой кратности резервирования НО позволяет различать изменение показателей надежности за счет структуры и конфигурации.

* Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Ю.Б. Гуку и старшему преподавателю В.В. Карпову за консультации и предоставленную возможность воспользоваться для расчетов программами "TOPAS" и "REISS".

Чем надежнее схема, тем больше величина НО.

Если расчетная схема соединения состоит из одного элемента, то НО принимается равной единице. При последовательном соединении элементов расчетной схемы НО цепи уменьшается обратно пропорционально числу элементов. При параллельном соединении элементов с пропускной способностью, равной единице, НО увеличивается прямо пропорционально их числу. Результаты расчета непараметрической оценки надежности схемы на рисунке 1 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета непараметрической оценки надежности

Количество питающих цепей	Параметр оценки надежности	Генератор включен на секции шин напряжением, кВ											Резервная линия включена на секцию шин напряжением, кВ			
		10			6			0,38			10	6	0,38			
		P_r/P_c , о.е.			P_r/P_c , о.е.			P_r/P_c , о.е.			$P_{ли}/P_c$, о.е.					
		0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	1		
0	НО, о.е.	-	-	-	0,077	-	-	-	0,125	-	-	-	0,333	0,0526	0,0714	0,111
1	НО, о.е.	0,045	0,078	0,079	0,081	0,045	0,125	0,128	0,133	0,045	0,318	0,346	0,379	0,057	0,074	0,11
2	НО, о.е.	0,048	0,079	0,08	0,081	0,048	0,125	0,129	0,133	0,048	0,321	0,348	0,382	0,062	0,082	0,128

В результате расчета надежности схемы электроснабжения промышленного предприятия на основе непараметрического анализа оказалось, что:

– при раздельной работе трансформаторов АТ1 и АТ2 значение НО существенно зависит от места включения генератора (резервной линии). Если генератор включен на шины РП-10 кВ, то НО надежности схемы в 1,6 раза меньше, чем при его включении на шины РП-6 кВ, и в 4,68 раза меньше, чем при включении на шины 0,38 кВ (здесь $P_r/P_c = 0,6 \dots 1,0$). Если резервная линия включена на шины РП-10 кВ, то НО надежности схемы в 1,1 раза меньше, чем при включении на шины РП-6 кВ (при полном покрытии ею мощности нагрузки секции), и в 1,83 раза меньше, чем при включении на шины напряжением 0,38 кВ;

– при параллельной работе трансформаторов АТ1 и АТ2 непараметрическая оценка надежности схемы возрастает незначительно (в 1,07 раза). Здесь при включении генератора электростанции к секциям шин различного номинального напряжения схемы электроснабжения значение НО практически не зависит от того, раздельно или параллельно работают трансформаторы АТ1 и АТ2 энергосистемы (см. рисунок 1). Однако при включении резервной линии, присоединенной к секции шин 10; 6 или 0,38 кВ схемы и полном покрытии ею нагрузки секции, НО надежности схемы возрастает в 1,08...1,16 раза (большее изменение характерно при присоединении резервной линии к шинам 0,38 кВ).

Таким образом, присоединение генератора миниэлектростанции к системе внутреннего электроснабжения предприятия и полное покрытие мощности присоединенной нагрузки обеспечивает снижение частоты отказов и вероятной продолжительности аварийного простоя схемы и снижает частоту отказов в 3 и

более раз, а вероятную продолжительность простоя более чем в 15,8 раза; большее снижение частоты отказов и вероятной продолжительности аварийного простоя обеспечивается при работе генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ.

В третьей главе рассмотрены способы включения генераторов миниэлектростанций на параллельную работу с энергосистемой, определены допустимые из них, которые могут применяться для генераторов малой мощности, работающих в системе электроснабжения промышленного предприятия. Выполнена проверка устойчивости работы генератора при точной автоматической синхронизации, определены допустимые скольжения при включении исходя из условия синхронизации генератора в первом цикле качаний. Разработана схема устройства точной синхронизации генератора, отличающаяся более высокой точностью работы и надежностью в сравнении с имеющимися типами синхронизаторов. Проведена проверка статической и динамической устойчивости генератора миниэлектростанции при его работе в системе электроснабжения предприятия.

Для генераторов мощностью 0,75; 1,5 и 2,5 МВт напряжением 10 кВ ($x_d'' = 0,141$ о.е., $I_{нр} = 51,6$ А, $I_{нв} = 1264,4$ А; $x_d'' = 0,1376$ о.е., $I_{нр} = 103,2$ А, $I_{нв} = 1312$ А и $x_d'' = 0,091$ о.е., $I_{нр} = 171,8$ А, $I_{нв} = 2107,5$ А) выяснено, что несинхронное их включение невозможно, т.к. не выполняется условие

$$I_{нв}/I_{нр} < 0,625/x_d'' \quad (5)$$

где $I_{нв}$ – ток несинхронного включения, А; $I_{нр}$ – номинальный ток генератора, А; x_d'' – сверхпереходное сопротивление генератора, о.е. Определение тока $I_{нв}$ производилось по сверхпереходному реактивному сопротивлению для случая включения при ЭДС $E = 1,05$ с учетом влияния нагрузки.

Включение генератора на шины напряжением 10 и 6 кВ по способу самосинхронизации также сопровождается токами, превышающими допустимые. Здесь подключение генератора по способу самосинхронизации возможно лишь на шины напряжением 0,38 кВ.

Так как исследуемый генератор работает в системе электроснабжения предприятия, то понижение напряжения в сети, соединяющей синхронизируемую машину с энергосистемой, оказывается неприемлемым. Следовательно, синхронизация таких генераторов с остальной частью энергосистемы должна производиться без перерыва электроснабжения потребителей, что возможно только при точной синхронизации.

Установлено, что присоединение генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ, снижает требования к точности работы устройств точной автоматической синхронизации, так как коэффициент запаса по электромагнитному моменту превосходит в 2 раза коэффициент запаса, принимаемый для крупных генераторов энергосистемы.

Включение генератора на параллельную работу с энергосистемой в соответствии с методом точной автоматической синхронизации осуществляется со

значительным коэффициентом запаса по электромагнитному моменту и не сопровождается понижением напряжения на шинах генераторного напряжения.

В главе проведено исследование устойчивости генератора миниэлектростанции при точной автоматической синхронизации. Были определены значения угловой скорости генератора при его включении из условий синхронизации в первом цикле качаний. Для этого был использован способ площадей.

Оказалось, что для генератора мощностью 1,5 МВт допустимые значения скольжения при включении из условия синхронизации в первом цикле качаний значительно больше (в 4 и более раз), чем для крупных генераторов электростанций энергосистемы. Этот фактор снижает требования к устройствам автоматической точной синхронизации, применяемым у генераторов малой мощности.

Уменьшение погрешности (за счет уменьшения количества суммируемых слагаемых в сумматоре), а также повышение точности определения времени опережения за счет учета углового ускорения $\frac{d^2U_\delta}{dt^2}$ реализуется в схеме реле синхронизации, предложенном диссертантом (уведомление о положительном результате предварительной экспертизы заявки на выдачу патента № а. 20060398 от 27.04.2006 г.). Условие срабатывания синхронизатора осуществляется в соответствии с выражением

$$U_\delta = \frac{dU_\delta}{dt} \cdot t_{\text{он}} + \frac{d^2U_\delta}{dt^2} \cdot \frac{t_{\text{он}}^2}{2}, \quad (6)$$

где U_δ – постоянное напряжение, пропорциональное углу δ .

Проведен анализ статической устойчивости генератора миниэлектростанции, работающей в системе электроснабжения предприятия при наличии и отсутствии автоматического регулятора возбуждения (АРВ), различных мест подключения генератора (шины напряжением 10; 6 или 0,38 кВ трансформаторной подстанции) и наличии промежуточных нагрузок (рисунок 2).

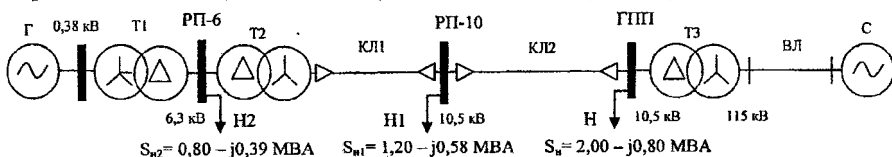


Рисунок 2 – Исходная схема для расчета

Предельная передаваемая мощность в систему по условию обеспечения статической устойчивости генератора миниэлектростанции определялась по выражению

$$P_{\text{пред}} = E^2 \cdot Y_{11} \sin \alpha_{11} + E \cdot U_c \cdot Y_{12}, \quad (7)$$

где E – ЭДС генератора станции, кВ; Y_{11}, Y_{12} – собственные и взаимные проводимости, См; α_{11} – дополнительный угол, град; U_c – напряжение системы, кВ.

В результате расчета статической устойчивости генератора было установлено, что предел передаваемой в систему мощности и коэффициент запаса имеют максимальные значения при наличии системы автоматического регулирования возбуждения; большее значение характерно при присоединении генератора к шинам напряжением 10 кВ.

Для всех рассмотренных случаев обеспечивается статическая устойчивость с заданным нормативным коэффициентом запаса.

Расчет динамической устойчивости генератора мощностью 1,5 МВт выполнен для случая трехфазного короткого замыкания в начале кабельной линии, присоединенной через выключатель к той же секции шин, что и генератор.

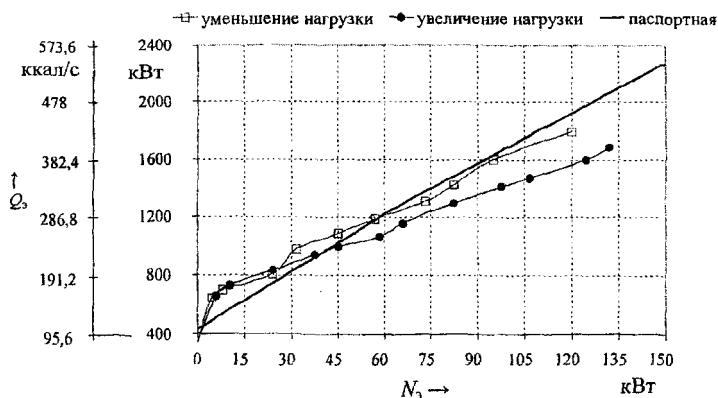
Расчеты показали, что предельное время отключения $t_{отк}$ равно 0,33 с, следовательно, время отключения, после которого генератор выпадает из синхронизма, больше времени работы релейной защиты и коммутационной аппаратуры, установленной на кабельных линиях, отходящих от шин генераторного напряжения, и равного 0,15...0,2 с, что свидетельствует о возможности обеспечения динамической устойчивости данного генератора. Угол отключения при этом составляет 80...110°, а значение возникающего электромагнитного момента превышает максимально допустимый для данного генератора.

В четвертой главе разработана комплексная методика оценки технико-экономической эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия при подключении к ней собственных генерирующих источников.

Отмеченная оценка может быть установлена на основе анализа, учитывающего как требуемые капитальные затраты, ежегодные эксплуатационные расходы (на текущие и капитальные ремонты, обслуживание, стоимость потерянной энергии), так и изменение надежности системы электроснабжения промышленного предприятия при внедрении генерирующих источников. Помимо отмеченного установка генерирующих источников на промышленном предприятии требует определения расхода тепловой энергии на производство электрической, который не должен превосходить соответствующий показатель в энергосистеме.

Дана оценка значению удельного расхода топлива на выработку электрической энергии для турбоагрегата с противодавленческой турбиной, вал которой сочленен через редуктор с электрическим генератором такой же самой мощности. Эксплуатационные условия работы данного турбоагрегата отличаются от номинальных, поэтому экспериментально полученные энергетические характеристики отличаются от паспортных (рисунок 3).

При отсутствии электрогенерирующего комплекса котельная предприятия вырабатывает тепловую энергию Q с расходом топлива B , который определяется исходя из значения количества тепла, отпускаемого потребителю, потерь в котле, потерь в питающем паропроводе и редуционно-охлаждительном устройстве (РОУ).



Q_3 — расход тепла на выработку электроэнергии;
 N_3 — мощность, выдаваемая генератором

Рисунок 3 — Энергетические характеристики турбоагрегата

Эффективность замены процесса снижения параметров в РОУ заключается в срабатывании адекватного потенциала в противодавленческой турбине, являющейся по существу вращающейся РОУ. Необратимые потери в РОУ при дросселировании пара определялись исходя из параметров пара перед и после РОУ, количества дросселируемого пара.

Если считать, что превышение потерь топлива δB при работе турбоагрегата над потерями при работе РОУ обеспечивает выработку электроэнергии мощностью 1,5 МВт, то удельный расход топлива на производство электроэнергии будет определен как

$$b_{ya}^{\delta} = \frac{\delta B}{N_3 \cdot t}, \quad (8)$$

где t — время работы турбоагрегата, ч;

N_3 — мощность, выдаваемая генератором миниэлектростанции, кВт.

В случае неучета потерь тепла в РОУ удельный расход топлива на производство электроэнергии будет равен

$$b_{ya}^{\Delta B^{TA}} = \frac{\Delta B^{TA}}{N_3 \cdot t}, \quad (9)$$

где ΔB^{TA} — часовые потери топлива при работе турбоагрегата, кг у.т.

Удельный расход топлива, определенный по паспортным характеристикам турбоагрегата, с учетом потерь в РОУ составил 0,156 кг у.т./кВт·ч. При неучете потерь тепла в РОУ удельный расход топлива на производство электроэнергии будет равен 0,232 кг у.т./кВт·ч.

Удельный расход топлива на производство электроэнергии определялся также и по экспериментально полученным энергетическим характеристикам, т. е. без учета потерь в РОУ:

при $N_3 = 1,2$ МВт (характеристика 1, рисунок 4) $b_{уд}^3 = 0,215$ кг у.т./кВт·ч;

при $N_3 = 1,32$ МВт (характеристика 2, рисунок 4) $b_{уд}^3 = 0,183$ кг у.т./кВт·ч.

Как видно из полученных результатов, удельный расход топлива на производство электроэнергии на паротурбинной установке малой мощности, установленной на промышленном предприятии вместо РОУ, ниже соответствующего показателя на замыкающей электростанции энергосистемы примерно в 1,38...2,04 раза, что говорит об экономичности и эффективности ее применения для производства электроэнергии.

Удельные капиталовложения для исследуемой турбогенераторной установки мощностью 1,5 МВт составляют 557,65 у.е./кВт.

Значение годовой экономии за счет сокращения покупки электроэнергии в энергосистеме составит:

$$D_{эк} = k_3 \cdot N_3 \cdot \beta_1 + \mathcal{E}_{отп} \cdot \beta_2, \quad (10)$$

где k_3 – коэффициент загрузки электростанции; β_1 – основная плата за один киловатт максимальной мощности потребителя, участвующего в максимуме нагрузки энергосистемы, руб/кВт; $\mathcal{E}_{отп}$ – значение полезно отпущенной электроэнергии генератором миниэлектростанции; β_2 – дополнительная плата за один киловатт-час отпущенной потребителю электроэнергии, руб./кВт·ч.

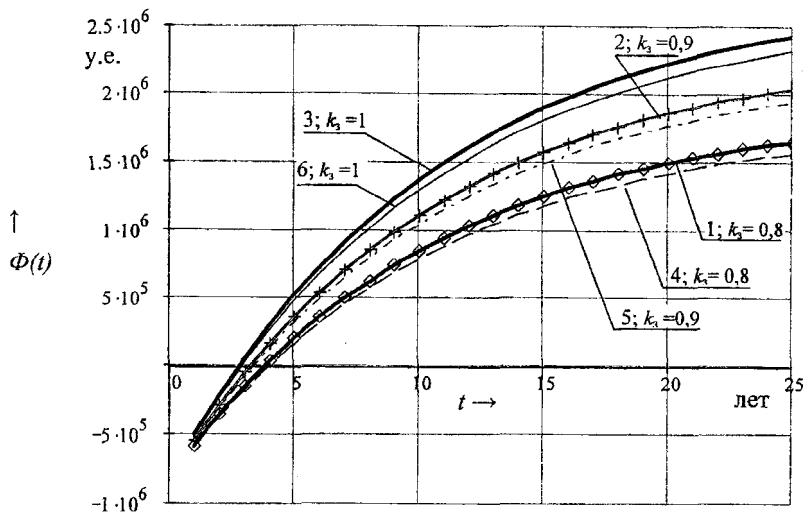
Целесообразность сооружения миниэлектростанции может быть определена на основе чистой дисконтированной стоимости из условия

$$Z_x = \sum_{t=1}^T (D_{эк} - Z_t - Z_{3,л} - Z_{т,р} - Z_{пот} - Z_{пр}) \cdot (1+E)^{-t} - K_0 + L \cdot (1+E)^{-T} > 0, \quad (11)$$

где $D_{эк}$ – значение годовой экономии за счет сокращения покупки электроэнергии в энергосистеме; Z_t – затраты на приобретение топлива для производства электроэнергии; $Z_{3,л}$ – затраты на заработную плату обслуживающего персонала; $Z_{т,р}$ – затраты на текущие ремонты; $Z_{пот}$ – стоимость потерь электроэнергии; $Z_{пр}$ – прочие затраты; E – ставка дисконтирования (принята равной 0,1); K_0 – капитальные вложения; L – ликвидная стоимость объекта по истечении срока службы T (для рассматриваемой турбогенераторной установки равен 25 лет);

Рассматривались возможные варианты подключения генератора миниэлектростанции (номинальной мощностью 1,5 МВт) на шины различных номинальных напряжений 10(6) и 0,38 кВ с коэффициентами загрузки 0,8; 0,9 и 1 при количестве часов использования установленной мощности равном 8064 ч. Стоимость 1000 м³ газа принималась равной 62,5 (в 2006 г.), 142,6 (в 2007 г.) и 250 у.е. (в 2008 г.). Финансовая эффективность проекта Φ определялась с учетом выплаты налога на прибыль. Результаты расчета Φ при стоимости природного

газа 142,6 у.е. за 1000 м³, электроэнергии β₁ = 17831,1 бел. руб./кВт и β₂ = 165,7 бел. руб./кВт·ч представлены на рисунке 4.



1, 2, 3 – генератор подключен на шины напряжением 10(6) кВ при коэффициенте загрузки 0,8; 0,9; 1; 4, 5, 6 – генератор подключен на шины напряжением 0,38 кВ при коэффициенте загрузки 0,8; 0,9; 1;

Рисунок 4 – Зависимость финансовой эффективности проекта от срока службы объекта при изменении загрузки миниэлектростанции и мест подключения генератора

Срок окупаемости проекта без учета дисконтирования определялся по выражению

$$T_{ок} = \frac{K_0}{D_{ок} - 3_t - H_t}, \quad (12)$$

где 3_t – суммарные затраты; H_t – налоги и сборы.

Все рассмотренные варианты являются экономически эффективными. Максимальная эффективность достигается при коэффициенте загрузки генератора, равном единице, и включении генератора на шины напряжением 10 кВ. Себестоимость вырабатываемой электроэнергии ниже в 1,67; 1,94 и 1,76 стоимости покупной электроэнергии в энергосистеме при цене на топливо 142,6; 62,5 и 250 у.е за 1000 м³ соответственно, что говорит об эффективности применения собственных электростанций малой мощности на промышленных предприятиях.

В диссертации приведена методика оценки эффективности включения в систему электроснабжения предприятия собственных генерирующих источни-

ков, а также места их наилучшего подключения (шины напряжением 10; 6 или 0,38 кВ) на основе метода многоцелевой оптимизации.

Задача сформулирована в следующем виде: требуется оценить эффективность применения собственных генерирующих источников при обеспечении:

- максимума финансовой эффективности (цель № 1);
- максимума надежности электроснабжения (цель № 2);
- минимальной зависимости от внешних источников электроснабжения (цель № 3);
- минимума отрицательного влияния на окружающую среду (цель № 4).

Структура целевой функции E представлена в виде среднеарифметического значения:

$$E = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_i \rightarrow \max, \quad (13)$$

где v_i – оценка важности i -й ($i=1, 2, \dots, n$) цели; e_i – относительная эффективность i -й цели. При этом $\sum_{i=1}^n v_i = 1$.

Любому невыгодному варианту соответствует $E = 0$, а идеальному – $E = 1$.

Положим, что если $v_i < 0,2$, то происходит обесценивание цели, т.е. нижний предел $v_i = 0,2$. Тогда максимально возможное значение v_i для наиболее важной цели при условии, что все остальные имеют коэффициенты 0,2, будет равно 0,4.

Значения v_i могут быть определены экспертным путем. В тех случаях, когда не может быть обеспечена низкая погрешность результата оценок v_i , рассматриваются наиболее употребительные варианты значений, получающихся как при равнозначных оценках важности цели ($v_i = 0,25$), так и в случаях одной ($v_1 = 0,4; v_2 = v_3 = v_4 = 0,2$) или двух ($v_1 = v_2 = 0,4; v_3 = v_4 = 0,1$) главных целей. При этом цель № 4 в качестве главной цели нами не рассматривалась.

Относительная эффективность e_i i -й цели определялась как

- для минимизируемой цели

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i}; \quad (14)$$

- для максимизируемой цели

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (15)$$

где x_i – текущее значение показателя i -й цели; $\min x_i$, $\max x_i$ – минимальное и максимальное значение показателя i -й цели.

Значения показателей x_i (цель № 1) финансовой эффективности в зависимости от места включения турбогенератора в систему электроснабжения предприятия получены на основе данных рисунка 4. Значения показателей x_i (цель № 2) непараметрической оценки надежности – взяты из таблицы 2. Значение x_i

(цель № 3) зависимости от внешних источников электроснабжения определялась по формулам

$$Y = Y_1 \cdot Y_2, \quad (16)$$

где Y_1 – отношение мощности, потребляемой из энергосистемы, к мощности, заявляемой предприятием, о.е;

Y_2 – отношение количества электроэнергии, потребляемой из энергосистемы, к суммарному потреблению электроэнергии предприятием, о.е.:

$$Y_1 = 1 - \frac{P_{\text{эст}}}{P_{\text{заявл}}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{эст}}$ – мощность, выдаваемая генератором электростанции, МВт;

$P_{\text{заявл}}$ – мощность, заявляемая предприятием, МВт.

$$Y_2 = 1 - \frac{W_{\text{эст}}}{W_{\text{потр}}}, \quad (18)$$

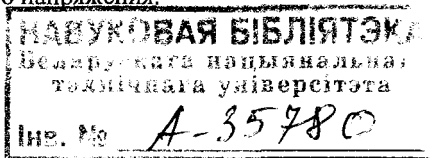
где $W_{\text{эст}}$ – количество электроэнергии, отпущенной с шин миниэлектростанции, кВт·ч; $W_{\text{потр}}$ – суммарное количество электроэнергии, потребляемое предприятием, кВт·ч (для исследуемого предприятия составляет 31 375 680 кВт·ч в год).

Значения показателей x_i цели № 4 определялись исходя из проведенных замеров (уровень звука, замеренный на расстоянии 1 м от турбогенератора по контуру и на высоте 1 м от поверхности площадок обслуживания, не превышает 93 дБА). При отсутствии турбогенератора уровень звука в производственном цехе составлял 60 дБА.

Показатели относительной эффективности e_i определялись по формулам (14) и (15). Далее по формуле (13) определялось значение критерия многоцелевой оптимизации E для всех рассматриваемых вариантов. Вариант с наибольшим значением критерия E наиболее целесообразен.

Значение критерия оптимизации E при наличии собственного генерирующего источника в системе электроснабжения промышленного предприятия превышает соответствующий критерий оптимизации при электроснабжении предприятия только от сетей энергосистемы в 2,34...4,90 раза, что говорит об эффективности применения собственных генерирующих источников на промышленном предприятии.

Для всех вариантов оценки важности исследуемых целей подключение собственного генератора миниэлектростанции наиболее эффективно на шины более низкого номинального напряжения.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В соответствии с поставленной целью в диссертации получены следующие основные результаты:

1. Выявлены составляющие необходимых затрат и возможных эффектов при создании собственных генерирующих источников на промышленном предприятии [6, с. 184, 5, с. 60], включающие как количественные показатели (надежность, экономичность), так и качественные характеристики (влияние на окружающую среду, степень зависимости предприятия от поставок электроэнергии из энергосистемы).

2. Показано, что присоединение генератора миниэлектростанции к системе внутреннего электроснабжения предприятия и полном покрытии мощности присоединенной нагрузки обеспечивает снижение частоты отказов в 3 и более раз и вероятную продолжительность аварийного простоя схемы, более чем в 15,8 раза; большее снижение показателей надежности обеспечивается при работе генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ. Автономная работа миниэлектростанции промышленного предприятия на полное покрытие собственной нагрузки сопровождается значительным ростом вероятной продолжительности аварийного простоя потребителей (до 80 и более раз) [2, с. 15, 8, с. 164, 9, с. 16].

3. Установлено, что несинхронное включение генераторов номинальной мощностью 0,75; 1,5 и 2,5 МВт миниэлектростанции на параллельную работу с энергосистемой недопустимо. Для обеспечения условий точной синхронизации разработана схема реле синхронизации, отличающаяся меньшей погрешностью (за счет уменьшения количества суммируемых слагаемых в сумматоре), а также повышением точности определения времени опережения (за счет учета углового ускорения при формировании условия срабатывания синхронизатора) и более высокой надежностью (за счет меньшего количества элементов в сравнении с имеющимися типами синхронизаторов) (уведомление о положительном результате предварительной экспертизы заявки на выдачу патента № а. 20060398 от 27.04.2006 г.). При этом еще раз подтверждено общеизвестное положение о том, что устойчивая параллельная работа генераторов миниэлектростанций с энергосистемой обеспечивается при их подключении к шинам любых номинальных напряжений системы электроснабжения предприятия [1, с. 8, 7, с. 447].

4. Доказано, что удельный расход топлива на производство электроэнергии на паротурбинной установке малой мощности, установленной на промышленном предприятии вместо редуционно-охлаждительного устройства, ниже соответствующего показателя на замыкающей электростанции энергосистемы примерно в 1,38-2,04 раза [3, с. 82, 10, с. 25].

5. Разработана комплексная методика определения эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий при подключении к ней собственных генерирующих источников, отличающаяся возможностью учета как количественных (экономичности, надежности), так и качественных (влияние на

окружающую среду, снижение зависимости предприятия от энергосистемы) показателей.

Показано, что критерий оптимизации при наличии собственного генерирующего источника в системе электроснабжения промышленного предприятия превышает соответствующий критерий оптимизации при электроснабжении предприятия только от сетей энергосистемы в 2,34-4,90 раза [4, с. 31]. Следовательно, сооружение миниэлектростанции на промышленном предприятии особенно целесообразно в условиях повышающихся цен на энергоносители.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Методика определения удельных норм расхода топлива на производство электрической энергии турбогенераторной установкой миниэлектростанции внедрена на предприятии ОАО "Мозырьсоль"; там же может быть использована разработанная схема устройства автоматики. Материалы диссертации применяются также в учебном процессе кафедры "Электрические системы" Белорусского национального технического университета по дисциплине "Эксплуатация электрических сетей". Теоретические положения, методы практической реализации концепции внутреннего и внешнего электроснабжения являются основой для реконструкции энергохозяйства промышленных предприятий при сооружении малых и миниэлектростанций с противоаварийными турбинами.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 Старжинский, А.Л. Повышение динамической устойчивости миниэлектростанций / А.Л. Старжинский // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 55. Методические и практические задачи надежности систем энергетики: сб. науч. ст. / Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН; редкол.: Н.И. Воропай [и др.]. – Иркутск - Минск, 2005. – С. 80–83.

2 Короткевич, М.А. К обоснованию целесообразности установки собственных генерирующих источников на промышленном предприятии / М.А. Короткевич, А.Л. Старжинский // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 1. – С. 15–20.

3 Старжинский, А.Л. Оценка удельного расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий / А.Л. Старжинский // Вестник ГГТУ. – 2006. – № 2. – С. 82–87.

4 Старжинский А.Л. Оценка эффективности сооружения паротурбинных энергетических установок на промышленных предприятиях / А.Л. Старжинский // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 3. – С. 26–32.

5 Старжинский, А.Л. Малые и мини ТЭЦ как средство энергосбережения / А.Л. Старжинский, О.Ю. Пухальская, В.М. Железко // Металл-2003: материалы

Международ. науч. - техн. конф., Жлобин, 12 – 13 ноября. 2003 г. / Белорусский металлургический завод; редкол.: В.А. Маточкин [и др.]. – Жлобин, 2003. – С. 60– 62.

6 Старжинский, А.Л. Резервы энергосбережения за счет децентрализации энергоисточников в промышленном энергоузле / А.Л. Старжинский, О.Ю. Пухальская // Электроэнергия и будущее цивилизации: материалы Международ. науч. - техн. конф., Томск, 19 – 21 мая 2004 г. / Томск. политехн. ин-т; редкол.: Б.И. Кудрин [и др.]. – Томск, 2004. – С. 184 – 186.

7 Старжинский, А.Л. Оценка динамической устойчивости миниэлектростанций в системе электроснабжения промышленных предприятий / А.Л. Старжинский // Электроэнергия и будущее цивилизации: материалы Международ. науч. - техн. конф., Томск, 19 – 21 мая 2004 г. / Томск. политехн. ин-т; редкол.: Б.И. Кудрин [и др.]. – Томск, 2004. – С. 447–448.

8 Короткевич, М.А. Оценка надежности схем электроснабжения предприятий с собственными генерирующими источниками / М.А. Короткевич, А.Л. Старжинский // Эффективність та якість електропостачання промислових підприємств EPQ 2005: матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф., Маріуполь, 18-20 травня 2005 р. / Приазов. держав. технічн. ун-т; редкол.: И.В. Жежеленко [и др.]. – Маріуполь, 2005. – С. 164 –166.

9 Старжинский, А.Л. Оценка надежности систем электроснабжения промышленных предприятий при неполной исходной информации / А.Л. Старжинский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Третьей Международ. науч.-техн. конф.: в 2 т. / Белорус. национ. технич. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталев [и др.]. – Минск, 2006. – Т. 1. – С. 16–18.

10 Старжинский, А.Л. Оценка расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий / А.Л. Старжинский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Четвертой Международ. науч.-техн. конф.: в 2 т. / Белорус. национ. технич. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталев [и др.]. – Минск, 2006. – Т. 1. – С. 22–26.

РЭЗЮМЕ

Старжынскі Аляксей Леанідавіч
Павышэнне эфектыўнасці сістэмы электразабеспячэння
прамысловых прадпрыемстваў

Мініэлектрастанцыя, надзейнасць сістэмы электразабеспячэння, паралельная праца, схема рэле сінхранізацыі, устойлівасць, удзельны расход паліва, эфектыўнасць, аптымізацыя.

Мэта работы заключаецца ў распрацоўцы комплекснай метадыкі адзнакі павышэння эфектыўнасці сістэмы электразабеспячэння прамысловых прадпрыемстваў, у тым ліку і прадпрыемстваў з бесперапынным тэхналагічным працэсам, пры падключэнні да іх уласных генерыруючых крыніц.

Метады даследавання – законы матэматычнай статыстыкі і тэорыі імавернасцей, метады шматмэтавай аптымізацыі, а таксама натурны эксперымент.

Высветлена, што далучэнне генератара мініэлектрастанцыі да сістэмы ўнутранага электразабеспячэння прадпрыемства і поўным пакрыццём магутнасці далучанай нагрузкі забяспечвае паніжэнне частаты адказаў у 3 і больш разоў, а імавернай працягласці прастоя больш за 15 разоў; большае паніжэнне частаты адказаў і імавернай працягласці аварыйнага прастоя забяспечваецца пры працы генератара на шыны больш нізкіх напружанняў, а менавіта 0,38 або 6 кВ. Распрацавана схема рэле сінхранізацыі, якое адрозніваецца больш высокай дакладнасцю працы за кошт уліку вуглавога паскарэння і меншай колькасцю складаемых, якія сумуюцца пры фармаванні ўмовы дзейнічання сінхранізатара, а таксама больш высокай надзейнасці ў параўнанні з наяўнымі тыпамі сінхранізатараў. Распрацавана метадыка азначэння ўдзельнага расходу паліва на вытворчасць электраэнергіі на паратурбінным абсталяванні ўстаноўкі малой магутнасці, устаноўленай на прамысловым прадпрыемстве замест рэдукцыйна-астуджальнай прылады. Высветлена, што будаванне ўласнай паратурбіннай электрастанцыі на прамысловым прадпрыемстве эфектыўна, таму што крытэрыі аптымізацыі пры наяўнасці ўласнай генеруючай крыніцы ў сістэме электразабеспячэння прамысловага прадпрыемства перавышае адпаведны крытэрыі аптымізацыі пры электразабеспячэнні прадпрыемства толькі ад сетак энергасістэмы ў 2,34...4,90 разоў.

Распрацаваная метадыка азначэння ўдзельных норм расходу паліва на вытворчасць электрычнай энергіі турбагенератарнай устаноўкай выкарыстана на прадпрыемстве ААТ «Мазырсоль» і ў вучэбным працэсе па дысцыпліне «Эксплуатацыя электрычных сетак» БНТУ.

Галіна ўжывання вынікаў дысертацыі – сістэмы электразабеспячэння прамысловых прадпрыемстваў.

РЕЗЮМЕ

Старжинский Алексей Леонидович

Повышение эффективности системы электроснабжения
промышленных предприятий

Миниэлектростанция, надежность системы электроснабжения, параллельная работа, схема реле синхронизации, устойчивость, удельный расход топлива, эффективность, оптимизация.

Цель работы заключается в разработке комплексной методики оценки повышения эффективности системы электроснабжения промышленных предприятий, в том числе и предприятий с непрерывным технологическим процессом, при подключении к ним собственных генерирующих источников.

Методы исследования – законы математической статистики и теории вероятностей, методы многоцелевой оптимизации, а также натуральный эксперимент.

Выяснено, что присоединение генератора миниэлектростанции к системе внутреннего электроснабжения предприятия и полном покрытии мощности присоединенной нагрузки обеспечивает снижение частоты отказов в 3 и более раз, а вероятной продолжительности простоя более чем в 15 раз; большее снижение частоты отказов и вероятной продолжительности аварийного простоя обеспечивается при работе генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ. Разработана схема реле синхронизации, отличающаяся более высокой точностью работы за счет учета углового ускорения и меньшим количеством суммируемых слагаемых при формировании условия срабатывания синхронизатора, а также более высокой надежностью по сравнению с имеющимися типами синхронизаторов. Разработана методика определения удельного расхода топлива на производство электроэнергии на паротурбинной установке малой мощности, установленной на промышленном предприятии вместо редукционно-охладительного устройства. Выяснено, что сооружение собственной паротурбинной электростанции на промышленном предприятии эффективно, т.к. критерий оптимизации при наличии собственного генерирующего источника в системе электроснабжения промышленного предприятия превышает соответствующий критерий оптимизации при электроснабжении предприятия только от сетей энергосистемы в 2,34...4,90 раза.

Разработанная методика определения удельных норм расхода топлива на производство электрической энергии турбогенераторной установкой внедрена на предприятии ОАО «Мозырьсоль» и в учебный процесс по дисциплине «Эксплуатация электрических сетей» БНТУ.

Область применения результатов диссертации – системы электроснабжения промышленных предприятий.

SUMMARY

Starzhinskiy Aleksey Leonidovich

Efficiency Improvement of Power Supply System for Industrial Enterprises

Mini-power station, power supply system reliability, parallel operation, diagram of synchronization relay, stability, specific fuel consumption, efficiency, optimization.

Purpose of the work is to develop a complex methodology for estimating efficiency improvement of power supply systems for industrial enterprises with a continuous technological process and own power generating sources.

Methods of the research are laws of the mathematical statistics and the probability theory, methods of multi-purpose optimization and plant experiments.

It has been found out that connection of a mini-power station generator to the internal power supply system and full provision of the connected load power ensure decrease in failure numbers by 3-fold and possible idle time by 15-fold; higher indices pertaining to failure numbers and possible duration of emergency idle time are ensured in the case when a generator is operating with the voltage of 0.38 or 6.0 kV. A synchronization relay diagram has been developed. It is characterized by higher

operational accuracy due to an angular speedup and lower number of components while forming conditions for a synchronizer starting process and more operational reliability in comparison with the existing synchronizers. Methodology for determination of specific fuel consumption required for power generation at steam-turbine unit of small power which is installed instead of reduction and cooling device at an industrial enterprise. It has been revealed that an installation of own steam-turbine power station at an industrial enterprise is rather efficient due to the fact that while having an own generating source in the power supply system of an industrial enterprise an optimization criterion exceeds the corresponding optimization criterion by 2.34-4.90-fold in the case of supplying power to an enterprise from power system networks.

The developed methodology for determination of specific fuel consumption norms required for power generation by turbine-generating unit is introduced at OAS "Mozyrsol" and in the BNTU training process for the discipline "Operation of power networks".

Field of dissertation results is power supply systems for industrial enterprises.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. P. P.', written in a cursive style.

Научное издание

СТАРЖИНСКИЙ
Алексей Леонидович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

по специальности 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические
системы

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Редактор Т.Н. Микулик

Подписано в печать 25.10.2007.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л.1,39. Уч.-изд. л. 1,09. Тираж 60. Заказ 1236.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/ 0131627 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Независимости, 65.